

- нический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; под ред. А. А. Захаровой. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 167-169]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/34962>
8. Computer Simulation of Replaceable Many Sider Plates (RMSP) with Enhanced Chip-Breaking Characteristics [Electronic resource] / M. A. Korchuganova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 142 : Innovative Technologies in Engineering. — [012064, 7 p.]. — Title screen. — <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/142/1/012064> <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/34747>

### ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Д.О. Долматов<sup>а</sup>, асп., Д.А. Седнев, к.т.н. зав. лаб. МНОЛ НК ИШНКБ

Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>а</sup>E-mail: [dolmatovdo@tpu.ru](mailto:dolmatovdo@tpu.ru)

**Аннотация:** Стальные отливки широко применяются в производстве ответственных изделий в различных областях промышленности. В этой связи большой интерес представляет развитие методов и средств неразрушающего контроля литых изделий. В данной работе рассматривается применение алгоритмов пространственно-временной обработки в роботизированных системах ультразвукового контроля. Подобный подход позволяет получить высокую производительность контроля и повысить разрешающую способность и отношение сигнал/шум результатов.

**Abstract:** Steel castings are widely used in the manufacture of critical products in various industries. In this regard, the development of techniques and equipment of non-destructive testing of castings is of great interest. In this paper the application of post-processing algorithms in robotic ultrasonic testing systems is considered. This approach allows to obtain high performance of the testing and increase the resolution and signal-to-noise ratio of the results.

**Ключевые слова:** роботизированные системы ультразвукового контроля, алгоритмы пространственно-временной обработки, стальные отливки.

**Keywords:** robotic ultrasonic testing systems, post-processing algorithms, steel castings

Стальные отливки широко применяются в производстве изделий ответственного назначения в нефтяной, газовой и атомной промышленности. Неразрушающий контроль стальных отливок на этапе производства является одним из подходов обеспечения надежности их функционирования. Среди всех существующих методов дефектоскопии широкое распространение получила ультразвуковая дефектоскопия [1]. Данный метод контроля позволяет выявить внутренние дефекты в объектах, обладает высокой чувствительностью, может быть реализован при одностороннем доступе к объекту контроля.

Повышение производительности контроля является актуальным вопросом развития ультразвуковой дефектоскопии. В этой связи большой интерес представляют системы ультразвукового контроля на основе роботизированных манипуляторов с шестью степенями свободы [2,3]. В контексте использования подобных систем большой интерес представляет использование алгоритмов пространственно-временной обработки, основанных на методе синтезированной апертуры. Подобные алгоритмы способны обеспечить получение результатов контроля в форме изображений структуры объектов контроля, обладающие высокой разрешающей способностью отношением сигнал/шум [4,5].

В контексте использования систем ультразвукового контроля на базе роботизированных манипуляторов в алгоритме пространственно-временной обработки должны быть учтены следующие особенности:

1. Наличие на пути распространения ультразвуковых волн сред с различными акустическими свойствами, обусловленное применением в автоматизированных системах контроля иммерсионного акустического контакта.
2. Восстановление изображений должно осуществляться с учетом формы поверхности объекта контроля.
3. Использование роботизированных манипуляторов подразумевает то, что в процессе контроля ультразвуковой преобразователь совершает не только поступательное, но и вращательное движение.

В программном пакете Matlab R2016a был реализован алгоритм пространственно-временной обработки, учитывающий все особенности, связанные с использованием роботизированных манипуляторов рассмотренные выше. Алгоритм обеспечивает восстановление трехмерных изображений и базируется на расчетах во временной области.

Экспериментальная проверка разработанного алгоритма осуществлялась на лабораторной установке (рисунок 1). Проверка работы алгоритма осуществлялась с использованием ультразвукового преобразователя с рабочей частотой 2.25 МГц и диаметром пьезопластины 6 мм.



Рис. 1. Лабораторная установка 1 – роботизированный манипулятор, 2 – иммерсионная ванна, 3 – стойка управления)

В качестве тестового образца использовался стальной блок, содержащий плоскостные отверстия диаметром 4 мм. Расположение искусственных дефектов представлено на рисунке 2. Для корректного позиционирования преобразователя в процессе сканирования объекта контроля экспериментальная процедура включает в себя процесс калибровки. Она заключается в определении координат конкретных точек объекта контроля. Затем полученные координаты сопоставляются с STL-моделью объекта, и представляется возможным построить траектории сканирования. В рамках экспериментальной верификации сканирование объекта контроля осуществлялось с шагом 1 мм.

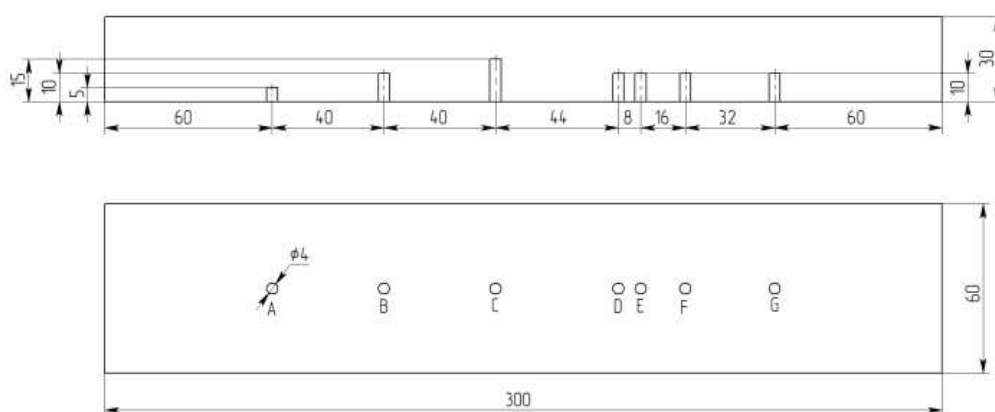


Рис. 2. Расположение дефектов в объекте контроля

Входными данными для алгоритма является набор эхо-сигналов и координаты инструмента (tool coordinates) в каждой точке траектории сканирования. Результатом пространственно-временной обработки является трехмерное изображение структуры объекта контроля (рисунок 3). В рамках проведенной экспериментальной верификации наиболее информативным является С-скан полученного результата (рисунок 4).



Рис. 3. Результат пространственно-временной обработки

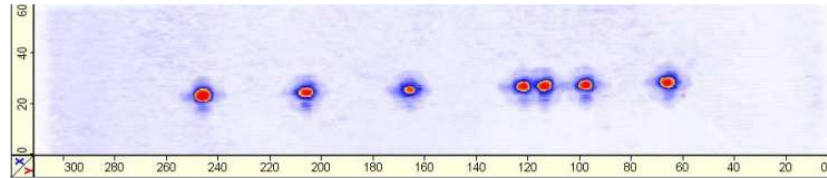


Рис. 4. С-скан результата

Полученный результат может быть оценен путем сравнения с результатом, когда пространственно-временная обработка не применялась (рисунок 5). На Рисунке 6 показаны профили двух результатов на ось Y.

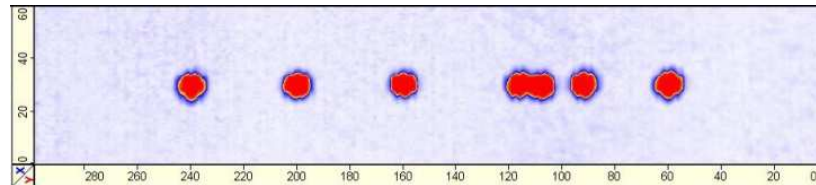


Рис. 4. С-скан результата без применения пространственно-временной обработки

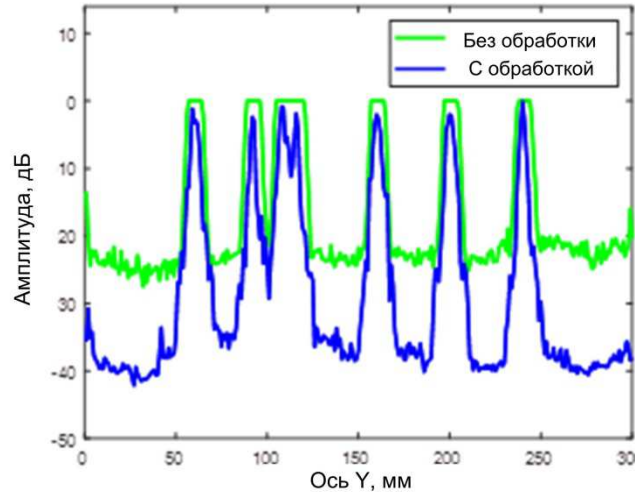


Рис. 5. Профили результатов при использовании пространственно-временной обработки и без ее применения

Таким образом, применение алгоритма пространственно-временной обработки позволило повысить фронтальную разрешающую способность результатов. Так, без использования пространственно-временной обработки не удалось разрешить дефекты D и E, в то время как применение алгоритма позволило решить данную задачу. Кроме-того, применение алгоритма обеспечило повышение отношения сигнал/шум по сравнению с результатом без пространственно-временной обработки. Полученные результаты демонстрируют перспективность внедрения рассмотренного подхода в роботизированные системы ультразвукового неразрушающего контроля.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Госзадания «Наука», проект № FSWW-2020-0014, а также Программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета.*

Список используемых источников:

1. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок / Гусев, Е. А., Карпельсон, А. Е., Потапов, В. П., Соснин, Ф. Р. // М.: Машиностроение. – 1990.
2. Cuevas E., Hernandez S., Cabellos E. Robot-based solutions for NDT inspections: integration of laser ultrasonics and air coupled ultrasounds for aeronautical components // 25th ASNT Research Symposium. – 2016. – p. 39-46.
3. Mineo C. Fast ultrasonic phased array inspection of complex geometries delivered through robotic manipulators and high speed data acquisition instrumentation / Mineo C. et al. // 2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS). – IEEE, 2016. – С. 1-4.
4. Doctor S. R. SAFT—the evolution of a signal processing technology for ultrasonic testing / Doctor S.R., Hall T.E., Reid L. D. // NDT international. – 1986. – Т. 19. – №. 3. – С. 163-167.
5. Stepinski T. SAFT performance in ultrasonic inspection of coarse grained metals / Stepinski T. // Proc. of the 6th Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear Pressurised Components, Budapest. – 2007. – С. 8-10.

#### ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент,*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67*

*E-mail: epifancew@gmail.com*

**Аннотация:** Параметры предприятия в настоящее время контролируются с помощью электронных датчиков, установленных на опасные производственные объекты – сосуды под давлением. Одним из важных параметров, позволяющих «сводить» на один экран показания нескольких измерительных каналов, является наличие SCADA системы. В лаборатории университета ГУАП активно используется моделирование технологических процессов в программном комплексе Lab View, позволяющем оперативно разрабатывать модели различных опасных производственных объектов. В основе данной статьи был разработан датчик анализа протечек резервуара с нефтью.

**Abstract:** Monitoring is currently carried out using electronic sensors installed in mobile laboratories. One of the important parameters that allows you to "reduce" the readings of several measuring channels to a single screen is the presence of a SCADA system. The laboratory of the University of GUAP actively uses modeling of technological processes in the software complex Lab View, which allows you to quickly develop models of various hazardous production objects. This article is based on the development of an oil tank leak analysis sensor.

**Ключевые слова:** SCADA, информатизация измерений, обратная связь, диагностика оборудования

**Key words:** SCADA, Informatization of measurements, feedback, equipment diagnostics

В настоящее время большое внимание в науке и технике уделяется дистанционному управлению опасными производственными процессами. Одним из инструментов мониторинга является система SCADA, которая позволяет оценивать показания измерительных преобразователей и оперативно сообщать об их критических изменениях оператору. Конечно, эта система имеет определенные недостатки наряду с ее эффективностью и высокой функциональностью - прежде всего, отсутствие базовых методов проверки системы в целом, оценки погрешности и оценки результатов по заданным значениям. Если мыслить с точки зрения цифровизации, то SCADA-это интеллектуальный дубль, искусственный интеллект, который позволяет нам реализовать основные принципы 4-й промышленной революции. Преимущества и недостатки таких систем будут рассмотрены в настоящем исследовании.

В статье рассматривается вопрос создания системы мониторинга на примере дистанционно работающей насосной станции [1,3]. Также большое внимание уделено непосредственно понятию метрологического отказа, описанию данной методики в измерительном оборудовании для уменьшения неточности и неблагоприятных последствий по срабатыванию датчиков в экстренном режиме работы. Смоделированная система в Lab View позволяет спрогнозировать ошибку и уменьшить отказ на этапе тестирований